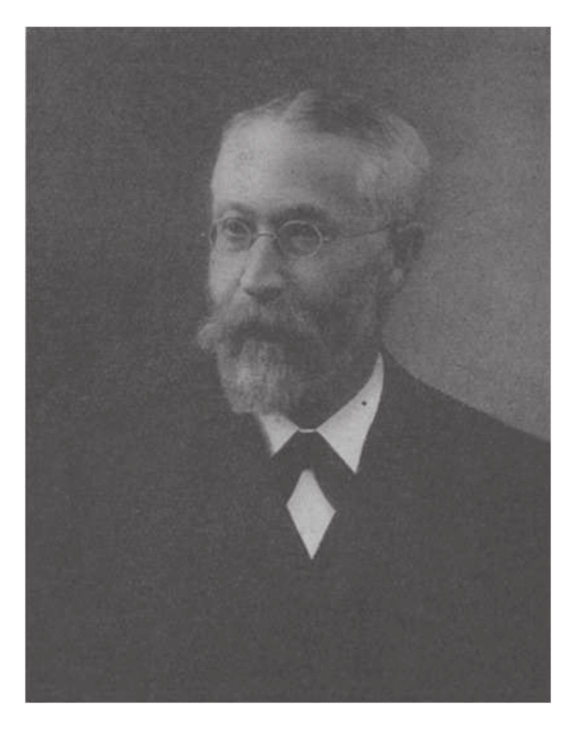
DIE NATURWISSENSCHAFTEN

35. Jahrgang Heft 2*) 1948

Zum 50jährigen Jubiläum der Braunschen Röhre[1]).

Von J. Zenneck.

Die erste Veröffentlichung von Ferdinand Braun, damals Professor an der Universität Straßburg, über seine Röhre steht in Wied. Ann. vom Jahr 1897 (1). Man hätte also ihr 50jähriges Jubiläum im letzten Jahr begehen müssen. Aber bei der gegenwärtigen Dehnung des Zeitmaßstabes wird man die Verspätung milde beurteilen: wenn heute eine Firma die Lieferung eines Gegenstandes in 50 Tagen verspricht und ihn am 51. tatsächlich liefert, so wird man sich freuen, daß man ihn *schon*, und nicht etwa sich ärgern, daß man ihn *erst* am 51. Tage bekommen hat.



Die letzten 50 Jahre haben an Hilfsmitteln der Experimentalphysik eine ganze Zahl von Delikatessen gebracht: Ich nenne nur die Nebelkammer von C. T. R. Wilson, den Massenspektrographen von Aston, das Laue-Diagramm, die Diffusionspumpe von Gaede, die Elektronenröhre von de Forest. Dazu gehört auch die Braunsche Röhre. Bezüglich der Vielseitigkeit der Anwendung steht zweifellos an erster Stelle die Elektronenröhre, an zweiter aber wohl die Braunsche Röhre, deren Verwendbarkeit sich auf alle Gebiete erstreckt, in denen man sich für rasch veränderliche Vorgänge interessiert, nicht nur auf Hochfrequenz-Physik, auf Ionosphärenforschung und Fernsehen (2).

Trotz dieser Bedeutung der Braunschen Röhre ist der Name Braun in vielen Physikerkreisen fast vergessen. Zum Beweis darf ich wohl eine Stelle aus einem Brief anführen, den ich vor einiger Zeit von einem bekannten amerikanischen Hochfrequenz-Physiker bekam: „Here is a man who has never received the recognition that is due to him as the inventor of the cathode ray oscilloscope tube. His tube has now come into its own, but the inventor is a forgotten genius for the time being. I hope someone does justice to him in the literature." Für Deutschland gilt das vielleicht nicht. Die meisten von uns bezeichnen die Röhre als „Braunsche Röhre"; diejenigen, die sie „Kathodenstrahl-Oszillograph" nennen, halten diesen Namen wohl für vornehmer als die reichlich bürgerlich anmutende „Braunsche Röhre". Dem Namen „Kathodenstrahl-Oszillograph", der im Ausland allgemein üblich ist, sieht man natürlich nicht an, daß ein Professor Braun in Verbindung damit stand, ebensowenig wie den „X-Rays", daß ein Physiker namens Röntgen etwas damit zu tun hatte.

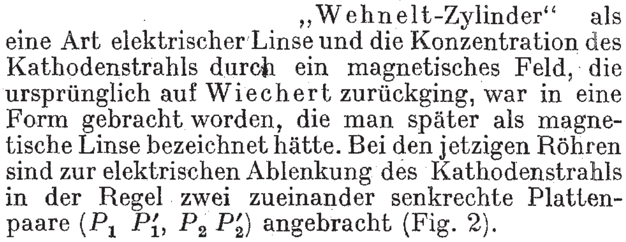
I. Die Röhre.

a) Form der Röhre.

Die ursprüngliche Form der Röhre war diejenige von Fig. 1: kalte Kathode K, Anode A. Diaphragma D, Schirm mit phosphoreszierender Substanz P, mäßiges Vacuum, also Ionen-Röhre, magnetische Ablenkung z. B. durch einen Strom in den Spulen S_1 und S_2. Diese Form hat sich im Lauf der Zeit nur insofern geändert, als man bei der Röhre außer der Benutzung des Diaphragmas als Anode alle die Verbesserungen anbrachte, die auf anderen Gebieten der Vacuumtechnik entwickelt worden waren: Glühkathode mit Hochvacuum, infolge davon die bequeme Möglichkeit der *elektrischen* Ablenkung des Kathodenstrahls, Konzentration desselben mit den Hilfsmitteln der Elektronenoptik und dadurch bedeutende Verschärfung des Bildes auf dem Schirm der Röhre und Verstärkung seiner Intensität. Dabei ist zu bemerken, daß eine Anzahl dieser Verbesserungen bei der Braunschen Röhre früher als bei anderen Vacuumröhren eingeführt wurde: ehe man von Elektronenoptik etwas wußte, benutzte man an der Kathode den „Wehnelt-Zylinder" als eine Art elektrischer Linse und die Konzentration des Kathodenstrahls durch ein magnetisches Feld, die ursprünglich auf Wiechert zurückging, war in eine Form gebracht worden, die man später als magnetische Linse bezeichnet hätte. Bei den jetzigen Röhren sind zur elektrischen Ablenkung des Kathodenstrahls in der Regel zwei zueinander senkrechte Plattenpaare (P_1 P_1', P_2 P_2') angebracht (Fig. 2).



Zur bequemen Handhabung der Röhre dienen heute Geräte mit Netzanschluß, in denen mit der Röhre alle Nebenapparate vereinigt sind, die für die nötige Gleichstrom-Hochspannung und für die zeitproportionale Ablenkung, von der nachher die Rede sein wird, sorgen. Dabei wurden die Abmessungen zum Teil so stark verringert, daß man das ganze Gerät bequem in der Außentasche eines Rucksacks unterbringen könnte.



Eine gerade entgegengesetzte Entwicklung, in unserem Land hauptsächlich durch Rogowski, früher in Aachen, und von Binder in Dresden, hat zu Riesenanordnung geführt. Über ein von der Cam-

[1]) Vortrag bei der physikalischen Gesellschaft in Bayern am 9. März 1948.

*) *Ausgegeben im September 1948.*

bridge Instrument Co. gebautes Gerät ähnlicher Art wird berichtet, daß es über 3 Tonnen wiegt. Von den anderen weiß ich nicht, was sie wiegen; ich habe mich mehr für ihre Leistung als für ihr Gewicht interessiert. Daß solche Ungetüme, deren Zweck die Photographie sehr rasch verlaufender einmaliger Vorgänge ist, nur für ganz spezielle Fälle, z. B. Durch-

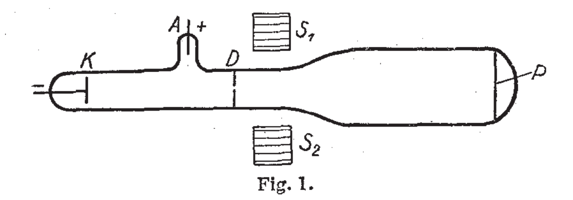


Fig. 1.

schlagversuche, Berechtigung haben, leuchtet ein. Sonst wird es meist möglich sein, sehr rasch verlaufende Vorgänge mit einer gewöhnlichen Braunschen Röhre sichtbar oder photographierbar zu machen, wenn es nur gelingt, sie nicht nur *einmal*

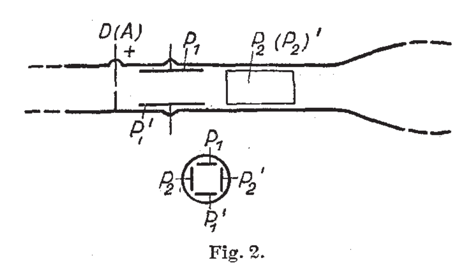


Fig. 2.

verlaufen, sondern *in regelmäßiger Folge sich wiederholen* zu lassen, ein Verfahren, das in der Ionosphärenforschung die Einführung der Braunschen Röhre und ihrer Vorteile möglich gemacht hat (3).

b) Verwendung als Oszillograph.

Der Zweck, den Braun mit seiner Röhre verfolgt hat, war die Darstellung des zeitlichen Verlaufs von Strömen oder Spannungen. Gegenüber dem *technischen Schleifen-Oszillographen*, der bekanntlich eine Art Drehspulinstrument mit ganz geringem Trägheitsmoment der „Drehspule" (Schleife) ist, besitzt die Braunsche Röhre zwei wichtige Vorteile.

1. Das Kathodenstrahlbündel in der Braunschen Röhre ist praktisch *trägheitslos*, während die Schleife des technischen Oszillographen natürlich immer ein gewisses Trägheitsmoment besitzt. Die Folge davon ist, daß der technische Oszillograph schon bei Frequenzen versagt, die man schon vor 50 Jahren als „Hochfrequenz" bezeichnet haben würde, während diese der Braunschen Röhre keinerlei Schwierigkeiten machen. Daß auch bei ihr die Bäume nicht in den Himmel wachsen, dafür sorgt die endliche Laufzeit der Elektronen. Wenn die Frequenzen in das Gebiet der *UK*-Wellen gesteigert werden — einer Wellenlänge von z. B. 3 cm entspricht eine Frequenz von 10^{10}/sec —, und die Zeit, die die Elektronen brauchen, um das elektrische oder magnetische Ablenkungsfeld zu durchlaufen, nicht mehr klein gegen die Periode der Schwingungen ist, macht sich der „Laufzeiteffekt" bemerkbar. Aber auch bei diesen Frequenzen versagt die Röhre nicht, es wird nur die Beziehung zwischen der Ablenkung des Phosphoreszenzflecks auf dem Schirm und der ablenkenden Feldstärke etwas verwickelter als bei niederen Frequenzen.

2. Der zweite Vorteil der Braunschen Röhre zeigt sich, wenn es sich um die Darstellung des zeitlichen Verlaufs einer *Spannung* handelt. Bei der Braunschen Röhre schließt man einfach die darzustellende Spannung an ein Plattenpaar der Braunschen Röhre an; ein merkbarer Energieverbrauch ist beim Betrieb damit meist nicht verbunden, ebenso wegen der kleinen Kapazität des Plattenpaars keine erhebliche Beeinflussung der Stromverhältnisse in den Schwingungskreisen. Beim technischen Oszillographen ist die Aufnahme einer Spannungskurve nur auf dem Umweg über einen Strom möglich: man schließt an die Spannung einen sogenannten „induktions- und kapazitätsfreien" Widerstand an und nimmt dann den in diesem entstehenden Strom auf, was nie ohne Energieverbrauch und selten ohne Eingriff in die Schwingungsverhältnisse möglich sein wird.

Bei der Ablenkung durch ein Wechselfeld bewegt sich der Phosphoreszenzfleck der Braunschen Röhre geradlinig hin und her (Fig. 3a). Um diese Bewegung als Wegzeitkurve sichtbar zu machen, benutzte man anfänglich den Drehspiegel, der früher bei der Sichtbarmachung von Vorgängen mäßiger Frequenz viel verwendet wurde. Später hat man zu demselben Zweck den Fleck auf einen Film oder eine Platte photographiert, die mit gleichförmiger Geschwindigkeit senkrecht zur Bewegungsrichtung des Flecks bewegt wurden.

Ganz befriedigend ist das nicht. Das Ideal wäre eine Anordnung, bei der die Kurve als *stehendes* Bild auf dem Schirm der Röhre erscheint. Das habe ich schon im Jahre 1899 verwirklicht (4). Ich ließ senkrecht zu der Ablenkung durch den darzustellenden Strom (Fig. 3a) einen Strom wirken, dessen zeitlicher Verlauf eine sogenannte „Sägezahnkurve" (Fig. 4) ist. Das hat zur Folge, daß der Phosphoreszenzfleck außer der z. B. vertikalen Bewegung durch den darzustellenden Strom durch den Sägezahnstrom eine horizontale Bewegung bekommt (Fig. 3b), infolge der er sich z. B. von links nach rechts mit gleichförmiger Geschwindigkeit — zeitproportional — bewegt, um dann plötzlich wieder auf seinen Ausgangspunkt zurückzuschnellen. Synchronisiert man den Sägezahnstrom, den man heute stets durch sogenannte Kippschwingungen erzeugt, mit der Gruppenfrequenz[1]) des darzustellenden Vorgangs, so erscheint auf dem Schirm der Röhre die gesuchte Kurve als leuchtendes stehendes Bild.

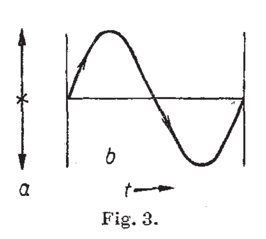


Fig. 3.

Ein witziger Einfall liegt einer Anordnung von N.V. Philips in Eindhoven zugrunde: der Schirm zeigte überraschenderweise die *Strom- und Spannungskurve gleichzeitig*. Das war nicht etwa durch Zwillingsröhren mit gemeinsamem Schirm, sondern dadurch erreicht

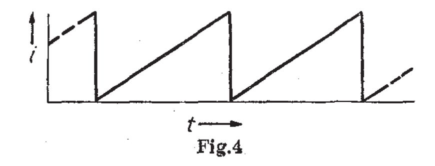


Fig.4

worden, daß man — natürlich durch eine Röhrenanordnung — *abwechslungsweise* den Strom bzw. die Spannung auf das Kathodenstrahlenbündel wirken ließ: durch die Nachwirkung im Auge und das Nachleuchten des Phosphors wurde der Eindruck der Gleichzeitigkeit hervorgerufen.

Viel mehr als daß die Strom- oder Spannungskurve noch bei Frequenzen von vielen Millionen/sec automatisch auf dem Schirm sich zeigt, kann man wirklich nicht verlangen. Es ist deshalb kein Wunder, wenn die Braunsche Röhre das Hauptwerkzeug des

[1]) Bei Wechselstrom ein ganzzahliger Teil seiner Frequenz.

Hochfrequenzphysikers oder -ingenieurs geworden ist. Im Jahr 1921 bekam ich vom Bureau of Standards eine Liste der Arbeiten, in denen bis dahin die Braunsche Röhre verwendet worden war. Sie enthielt 89 Arbeiten, darunter übrigens nicht eine einzige eines deutschen Elektrotechnikers. Heute wäre es schon aus Papiermangel beinahe unmöglich, eine

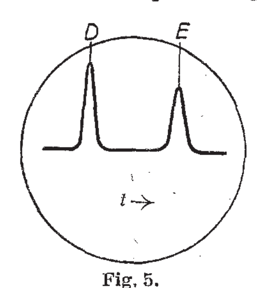


Fig. 5.

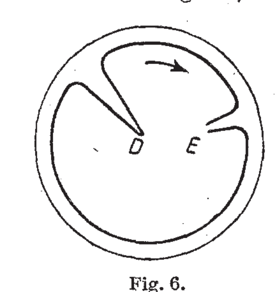


Fig. 6.

solche Liste herzustellen; es würde jedenfalls einfacher sein, diejenigen Hochfrequenzarbeiten aufzuführen, in denen die Braunsche Röhre *nicht* benutzt wurde.

Die Verwendung als Oszillograph hat auch die Einführung der Braunschen Röhre in die *Ionosphärenforschung* zur Folge gehabt. Es handelt sich ja hier darum, die Laufzeit einer elektromagnetischen Welle zu messen, die man vertikal nach oben schickt und die nach Reflexion an einer Ionosphärenschicht wieder herunterkommt. Das Oszillogramm sieht ungefähr wie Fig. 5 aus: D entspricht der Aussendung, E der Rückkehr der Welle nach der Reflexion. Der Zeitunterschied DE, d. h. die Laufzeit, ist von der Größenordnung von 1/1000 sec.

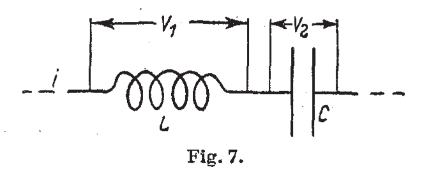


Fig. 7.

Das Auflösungsvermögen einer solchen oder einer ähnlichen Anordnung läßt sich in einfacher Weise ungefähr verdreifachen. Man nimmt als zeitproportionale Ablenkung nicht eine gradlinige wie in Fig. 5, sondern der kreisförmigen Form des Schirms entsprechend eine kreisförmige Ablenkung durch ein Drehfeld und lenkt dadurch den darzustellenden Strom (Spannung) nicht in vertikaler Richtung wie in Fig. 5, sondern in radialer Richtung ab (5). Unter denselben Bedingungen wie bei Fig. 5 erhält man dann ein Bild wie das von Fig. 6: die „Zeitachse" ist ein Kreis, dessen Umfang ungefähr 3mal so groß ist als der Durchmesser des Kreises, der in Fig. 5 die Länge der Zeitachse begrenzt. Es ist die Normalanordnung geworden für die Messung der sehr kurzen Zeit zwischen zwei Impulsen, wie sie z. B. für die Messung der Höhe eines Flugzeuges über dem Erdboden nötig ist.

Daß man mit der Röhre eine zeitlich veränderliche Größe, z. B. einen zeitlich veränderlichen Strom *nach der Zeit differenzieren und* auch *integrieren* kann, geht aus Fig. 7 hervor: die Spannung (V_1) an der Spule L ist $\sim di/dt$ und diejenige (V_2) am Kondensator $C \sim \int i \cdot dt$.

c) Gleichzeitige Ablenkung nach verschiedenen Richtungen.

Bei allen diesen Beispielen spielt die Braunsche Röhre die Rolle eines Oszillographen; hier ist also der Name „Kathoden-Oszillograph" wenigstens nicht sachlich falsch. Aber es gibt Gebiete, auf denen die Leistungen einer Braunschen Röhre weit über das hinausgehen, was man von einem Oszillographen verlangen kann. Das liegt an einem grundsätzlichen Unterschied zwischen beiden: beim technischen Oszillographen ist eine Ablenkung nur in *einer* Richtung, bei der Braunschen Röhre sind *Ablenkungen in verschiedenen Richtungen gleichzeitig* möglich, wie das auch schon bei einem Teil der erwähnten Beispiele vorausgesetzt wurde.

Als Braun seine Röhre herausgebracht hatte, war ich davon geradezu begeistert; das war ja genau das, was ich mir schon lange gewünscht hatte: ein Gerät, mit dem man *sieht*, was in den Stromkreisen vorgeht. Ich habe es in der Folgezeit geradezu als Sport betrachtet, möglichst viele Anwendungsmöglichkeiten herauszufinden. Ich darf wohl einige wenige Beispiele aus der ersten Zeit anführen.

Vor allem gehört hierher die schon erwähnte *Herstellung einer stehenden Kurve* von irgendeinem Vorgang auf dem Schirm der Braunschen Röhre mit Hilfe einer zeitproportionalen Ablenkung, wie sie oben beschrieben wurde.

Was ein *Drehfeld* ist, wußte man in Straßburg schon: Straßburg war damals wohl die erste deutsche Stadt gewesen, die eine Drehstromzentrale bekommen hatte. Gesehen hatte ein Drehfeld natürlich noch niemand. Nun braucht man aber nur ein Drehfeld auf eine Braunsche Röhre wirken zu lassen — z. B. durch 3 Spulen, deren Achsen in einer zur Röhrenachse senkrechten Ebene um 120° gegeneinander versetzt sind, gleich starke Ströme der 3 Phasen hindurchzuschicken —, so wird das Kathodenstrahlbündel im Kreis herumgejagt und auf dem Schirm entsteht ein leuchtender Kreis, der das Drehfeld wenigstens mittelbar sichtbar macht (Fig. 8, dick ausgezogene Kurve).

Sind die Ströme nicht sinusförmig, sondern enthalten sie eine besonders hervortretende Harmonische, so nimmt das Bild auf dem Schirm der Braunschen Röhre die Form von Fig. 8 (dünne Kurve) an: die Harmonische zeigt sich in Aus- und Einbuchtungen des Kreises. Ein solches Bild liefert also ein bequemes Mittel um festzustellen, ob der Strom irgendeine starke Harmonische enthält und welche; es gibt auch die Amplitude dieser Harmonischen im Verhältnis zu derjenigen der Grundschwingung.

Mit einer Anwendung habe ich mich unbeliebt gemacht: ich wollte prüfen, wie weit der Straßburger Drehstrom tatsächlich die angegebenen 50 Perioden oder, wie man damals sagte, „100 Wechsel pro Sekunde" besitzt. Zu dem Zweck betrieb ich die Braunsche Röhre nicht mit einer Influenzmaschine, sondern mit einem Stimmgabel-Unterbrecher von 100 Schwingungen/sec und einem kleinen Induktor. Außerdem ließ ich ein Drehfeld des Drehstroms der Zentrale auf die Röhre wirken, so daß also beim Betrieb mit der Influenzmaschine ein leuchtender Kreis auf dem Schirm entstanden wäre. Beim Betrieb mit dem Stimmgabel-Unterbrecher zeigten sich aber nur 2 leuchtende Punkte, die auf dem virtuellen Kreis lagen (Fig. 9). Sie standen still, wenn die Frequenz des Drehstroms und damit auch Drehfeldes genau 50/sec

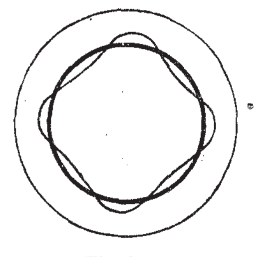


Fig. 8.

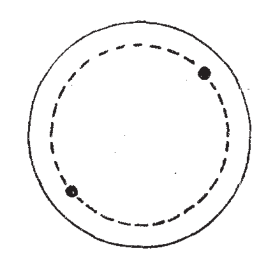


Fig. 9.

war, liefen aber in der einen oder anderen Richtung um, wenn die Frequenz größer oder kleiner als 50/sec, d. h. als die halbe Schwingungszahl des Stimmgabel-Unterbrechers war. Ich führte die Methode unter anderem bei einem Vortrag vor, dabei ergab sich, daß die Frequenz des Drehstroms um $\pm 4\%$ schwankte[2]). In dem Vortrag waren Ingenieure der Drehstromzentrale: sie haben es mir sehr übelgenommen, daß ich nicht nur selbst ihnen in die Karten gesehen, sondern auch andere habe hereinsehen lassen.

Bei der Aufgabe, auszuprobieren, welche *Phosphore* für den Schirm der Braunschen Röhre visuell und photographisch am wirksamsten sind, war natürlich Voraussetzung: „unter sonst gleichen Umständen". „Sonst gleiche Umstände" bei Ionenröhren und bei einer Influenzmaschine als Stromquelle herzustellen, war beinahe hoffnungslos. Mit Hilfe eines Drehfelds war die Aufgabe aber spielend zu lösen. Ich ließ (Fig. 10) die 6[3]) zu vergleichenden Phosphore als die 6 Sektoren eines Kreises durch die Firma Geißler in Bonn, die die Röhren anfertigte, auf den Schirm der Röhre aufbringen und trieb das Kathodenstrahlbündel durch ein Drehfeld auf dem Kreis herum. Man sah dann sofort, welcher Sektor am stärksten leuchtete und auch welcher nach der photographischen Aufnahme am stärksten herauskam.

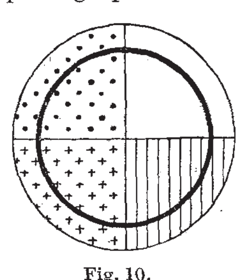


Fig. 10.

Die außerordentlich größere *Vielseitigkeit* der Braunschen Röhre gegenüber dem technischen Oszillographen zeigt sich am besten bei der sehr häufigen Aufgabe, die Strom-Spannungs-Charakteristik (Kennlinie) irgendeines Leiters aufzunehmen, mag es sich um einen Lichtbogen oder um eine der vielen Kennlinien einer Elektronenröhre handeln. Beim technischen Oszillographen ist die Aufgabe nur so zu lösen, daß man sowohl von dem Strom als von der Spannung je ein Oszillogramm aufnimmt, das die Abhängigkeit dieser Größen von der Zeit darstellt, dann gleichzeitige Werte des Stroms und der Spannung in ein Koordinatennetz einträgt und so die Kurve zeichnet, die die eine der beiden Größen als Funktion der anderen liefert. Bei der Braunschen Röhre lenkt man einfach das Kathodenstrahlbündel in einer Richtung durch den Strom, in der dazu senkrechten durch die Spannung ab: es erscheint dann automatisch auf dem Schirm die Strom-Spannungs-Kennlinie, und zwar praktisch bei beliebiger Frequenz[4]).

Die Möglichkeit, eine zeitabhängige Größe unmittelbar als Funktion einer anderen darzustellen, ist diejenige Eigenschaft, die die Braunsche Röhre grundsätzlich über einen Oszillographen irgendwelcher Art weit hinaushebt.

Stellt man die zueinander senkrechten Ablenkungen durch zwei Ströme oder zwei Spannungen oder durch einen Strom und eine Spannung derselben Frequenz her, so gibt die auf dem Schirm im allgemeinen erscheinende Ellipse das *Verhältnis der Amplituden und die Phasendifferenz.*

Daß es auch möglich ist, bei praktisch beliebiger Frequenz die *Magnetisierungskurve* irgendeines Eisenkerns mit der Braunschen Röhre darzustellen, wenn man das erwähnte Zeitintegriervermögen der Röhre heranzieht, zeigt eine einfache Überlegung.

Ganz besonders einfach ist der *Vergleich der Frequenzen* zweier Ströme oder Spannungen mit Hilfe der Braunschen Röhre in zwei Fällen. Mit dem ersten Fall hat man es zu tun bei der Frequenzvervielfachung oder -unterteilung, wenn die Frequenzen der beiden Ströme oder Spannungen im Verhältnis ganzer kleiner Zahlen stehen. Läßt man dann die beiden so auf die Braunsche Röhre wirken, daß sie das Kathodenbündel senkrecht zueinander ablenken, so entstehen auf dem Schirm der Röhre die bekannten *Lissajou-Figuren*, die das Verhältnis der Amplituden und Frequenzen anzeigen. Sie warnen auch, wenn die Frequenz einer der Größen oder beider etwas schwankt: die Lissajou-Kurve steht dann nicht fest, sondern ändert sich mit der Zeit. Der zweite Fall ist der, daß man prüfen will, ob 2 Ströme oder Spannungen genau dieselbe Frequenz haben. Die Ellipse, die bei Ablenkungen in zueinander senkrechten Richtungen im allgemeinen erscheint, steht bei vollkommener Gleichheit still, ändert aber Form und Lage, sobald die beiden Frequenzen etwas verschieden sind.

Die Vorteile, die die Braunsche Röhre als *Demonstrationsmittel für die Experimentalvorlesung* auf dem ganzen Schwingungsgebiet bietet, sind klar. Wenn sie in den meisten Vorlesungen nicht so viel benutzt wird als sie verdient, so liegt das wohl einmal daran, daß es bis jetzt wenig Braunsche Röhren gibt, die für die Demonstration in einem größeren Hörsaal geeignet sind, dann aber auch an einer gewissen konservativen Einstellung vieler Dozenten — um es so höflich als möglich zu bezeichnen.

d) Fernsehen.

Was Braun nicht vorausschauen konnte war, daß seine Röhre einmal berufen sein sollte, im Fernsehen eine geradezu monopolartige Stellung einzunehmen: alle erfolgreichen Fernsehsysteme benutzen ja eine Art Braunsche Röhre. Bei diesen Fernsehröhren ist zu den Aufgaben der gewöhnlichen Braunschen Röhren noch die Modulation der Intensität des Kathodenstrahlbündels hinzugekommen. Sie bedingt naturgemäß zusätzliche Vorrichtungen. Ich möchte darauf nicht näher eingehen, so großes physikalisches Interesse die Fernsehanordnungen bieten — ich brauche nur an das Ikonoskop von Zworykin zu erinnern.

Hinweisen möchte ich aber darauf, daß das Wunderwerk, das die Rückstrahlung von Ultrakurzwellen zur Herstellung eines sichtbaren Bildes des Erdbodens vom Flugzeug aus gestattet und das bei uns unter dem Namen „Rotterdam-Gerät" ging, auf dem Prinzip der Braunschen Röhre beruht.

Hinweisen möchte ich auch darauf, daß in neuerer Zeit die Verwendung der Braunschen Röhre auf die Darstellung von allen möglichen mechanischen Bewegungen und von Druck- und Temperatur-Änderungen ausgedehnt wurde.

II. Braun als Physiker und Mensch (6).

Es würde nicht richtig sein, neben der Erfindung den Erfinder ganz zurücktreten zu lassen. Ich darf deshalb wohl noch etwas von Braun selbst erzählen, in dessen Institut ich 8½ Jahre lang Assistent und später Privatdozent war.

Es ist nicht etwa so, daß Braun zufällig einmal einen guten Gedanken, den seiner Röhre, hatte. Er hat für seinen *gekoppelten drahtlosen Sender* zusammen mit Marconi den Nobelpreis erhalten. Dieser Sender brachte gegenüber der Anordnung, die Marconi zuerst benutzt hatte, zweifellos einen großen Fortschritt und ist auch die Grundlage des Löschfunken-Senders

---

[2]) Die Regulier-Vorrichtungen waren damals viel weniger ausgebildet als heute.
[3]) In Fig. 10 nur 4 gezeichnet.
[4]) Solange diese nicht so extrem hoch ist, daß der Laufzeiteffekt in der Röhre zur Wirkung kommt.

von Max Wien und Telefunken geworden, der seiner Zeit die drahtlose Telegraphie geradezu mit einem Ruck vorwärtsgebracht hat.

Von Braun rührt auch der Gedanke[5]) her, den Cohürer mit seiner Unbestimmtheit durch das zu ersetzen, was man später als *Kontakt-* oder *Kristalldetektor* bezeichnete und was nicht nur lange Zeit das Empfängergebiet vollkommen beherrschte, sondern auch in neuester Zeit bei den UK-Wellen wieder Bedeutung gewonnen hat. Braun war auch einer der ersten, der eine *gerichtete Aussendung der Wellen* erzielte und ebenso der erste, der messende Versuche mit der *Rahmenantenne* machte, die ja noch heute eine besonders wichtige Empfangsantenne bildet.

Sehr hübsch waren Versuche mit Hertzschen Wellen, bei denen er einen *doppelt brechenden Körper* durch ein *Backsteingitter* herstellte. In derselben Richtung lag eine Anordnung, mit der er nachwies, daß die Hertzschen Versuche mit der Polarisation der Wellen durch *Drahtgitter* sich auch auf die Optik übertragen lassen, wenn man die Gitter nur genügend fein macht. Er erreichte dies in sehr origineller Weise, indem er einen Draht, den er auf eine Glasplatte gelegt und in einen Kondensatorkreis eingeschaltet hatte, durch die Kondensatorentladung zerstäuben ließ und zeigte, daß das Metallgitter, das auf der Glasplatte entstand, unter dem Mikroskop Polarisation zeigte. Eine seiner ersten Arbeiten beschrieb eine merkwürdige Erscheinung, die er „*Elektrostenolyse*" nannte: Läßt man den Strom in einem Elektrolyten durch einen engen Spalt, z. B. den Sprung in einer Glasplatte, hindurchgehen, so tritt an diesem Spalt wie an einer Zwischenelektrode eine elektrolytische Ausscheidung ein.

Zu dem Handwerkszeug jedes Institutes gehört noch heute das Braunsche Hochspannungs-*Elektrometer*, das, einfach und robust wie es ist, sich vorzüglich zur Demonstration eignet.

Braun hat in seinen jüngeren Jahren auch viel theoretisch gearbeitet. Ich brauche nur an den Namen „Le Chatelier-Braun-Prinzip" zu erinnern. Braun war dazu bei der Behandlung der Vorgänge in galvanischen Elementen gelangt. Das Prinzip hat sich in der allgemeinen Form, in der es ausgesprochen wurde, nicht halten können. Brauns Arbeit erregte aber damals Aufsehen, weil sie den Nachweis enthielt, daß der bisherigen Behandlung eine unrichtige Annahme zugrunde lag.

Was das *Leben* Brauns betrifft, so war er 1850 in Fulda geboren, studierte in Marburg und Berlin und ging von dort aus mit Quincke, mit dem er besonders befreundet war, als Assistent nach Würzburg. Dann vertauschte er die Universität mit der Mittelschule und wurde Oberlehrer an der Thomas-Schule in Leipzig. Auch in dieser Stellung hat er ausgedehnt physikalisch gearbeitet. Er gehörte also zu den Lehrern, die die Begeisterung für die Wissenschaft und die Energie besitzen, um neben dem anstrengenden Lehrberuf sich auch noch wissenschaftlich zu betätigen.

Die erste akademische Professur erhielt Braun im Jahre 1876: er wurde a. o. Professor für *theoretische* Physik in Marburg und ging dann 1880 in gleicher Eigenschaft nach Straßburg und 1883 nach Karlsruhe. In Straßburg wirkte damals Kundt, mit dem Braun in seiner wissenschaftlichen Arbeit viel Ähnlichkeit hatte und mit dem er augenscheinlich sehr gut stand. Von Karlsruhe kam er 1885 als ordentlicher Professor für *Experimental*physik an die Universität Tübingen. Es war damals noch häufig so, daß ein Privatdozent, der sich durch gute experimentelle Arbeiten bekanntgemacht hatte, a. o. Professor für theoretische Physik, und ein a. o. Professor, der gute theoretische Arbeiten veröffentlicht hatte, ord. Professor für Experimentalphysik wurde. In Tübingen erwartete ihn eine für sein Alter sehr verantwortungsvolle Aufgabe: der Bau und die Einrichtung eines physikalischen Instituts, die ihm, wie wohl jedem in derselben Lage, viel Freude und viel Ärger brachte. In Tübingen hat Braun sich sehr wohlgefühlt, so daß er 1895 nur mit einem gewissen Bedauern einem Ruf auf die ordentliche Professur in Straßburg folgte.

Als der erste Weltkrieg ausgebrochen war, wurde Braun als Zeuge in einem Patentprozeß in Neuyork gewünscht, den die amerikanische Marconi-Gesellschaft gegen die Station Sayville, die Gegenstation von Nauen bei Berlin, angestrengt hatte. Es bestand die Absicht, dadurch die Schließung dieser Station zu erreichen und damit dem Deutschen Reich nach der Wegnahme der Kabel auch noch diese Nachrichtenverbindung mit den USA. abzuschneiden. Braun hat sich als 64jähriger von erschütterter Gesundheit entschlossen, die Fahrt mitten im Winter und durch die englische Blockade hindurch zu machen, weil er hoffte, seinem Vaterland dadurch einen Dienst erweisen zu können. Er ist 1918 in Brooklyn bei Neuyork, wo er nach dem Eintritt der Vereinigten Staaten in den Krieg unbehelligt gelebt hatte, gestorben.

Braun war ein eleganter Experimentator, der die experimentellen Hilfsmittel der Physik ausgezeichnet beherrschte. Bei seinen Untersuchungen kam es ihm stets nur auf das *Wesentliche* an. Er führte seine Versuche nur so weit als nötig war, um Klarheit in die Verhältnisse zu bringen. Irgendeine physikalische Größe mit der größten erreichbaren Genauigkeit um ihrer selbst willen zu messen, war nicht seine Sache. Durch seinen Sinn für das Wesentliche war auch seine Stellung zur Theorie beherrscht. Was ihn an theoretischen Arbeiten interessierte, war der Ansatz und das Resultat, die dazwischenliegenden Rechnungen betrachtete er mehr als notwendiges Übel. Im physikalischen Colloquium hatte er manchmal von einer Arbeit genug gehört, wenn er den Ansatz kennengelernt und sich überzeugt hatte, daß er den tatsächlichen Verhältnissen nicht entsprach.

Für die physikalische Atmosphäre hatte er einen feinen Instinkt. Ein Beispiel dafür ist wohl, daß er die Versuche mit der Rahmenantenne gerade zu der Zeit aufnahm, als die Verstärkerröhre auf den Plan trat und eine ausgedehnte Verwendung dieser Antennenform möglich machte.

Bei physikalischen *Rechnungen*, besonders in der Vorlesung, war er stets bei der Hand, das Resultat im voraus zu überschlagen oder, wie er es nannte „in Bausch und Bogen" zu berechnen. Als er von Tübingen nach Straßburg wegging, schenkte ihm der dortige „Mathematische Verein" zum Abschied eine einstellige Logarithmentafel, „um damit in Bausch und Bogen zu rechnen". Erzählt wurde von ihm auch, er habe einmal in der Vorlesung 2×25 rechnen sollen, habe es „in Bausch und Bogen" gleich 2×30 gesetzt und dafür 60 gefunden und dann hinzugefügt: „Nun hatten wir vorhin statt 2×25 2×30 genommen; es wird also wohl ungefähr 50 sein."

Persönlich war Braun in seinem Wesen anspruchslos. Alles Bonzenhafte sowohl in der Form bonzenhafter Einbildung als bonzenhaften Wohlwollens lag ihm fern. Trotz alles Schweren, was er erlebt hat, hat ihn sein Humor nie verlassen. Seine witzigen Be-

[5]) Aber nicht die erste Ausführung.

merkungen sowohl in der Vorlesung als in der Unterhaltung wirkten um so mehr, als man ihm die eigene Freude darüber anmerkte. Als Institutsvorstand war er bei den Doktoranden und Assistenten gleich beliebt. Zumal wir Assistenten hatten an ihm einen Chef, der unsere wissenschaftlichen Arbeiten in jeder Beziehung förderte und unserer Eigenart das liebenswürdigste Verständnis entgegenbrachte. Wir hatten beide Dienstwohnung im Institut und infolge einer nicht gerade empfehlenswerten Verschiebung unseres Zeit-Koordinaten-Systems arbeiteten wir bis tief in die Nacht hinein und standen dafür spätmorgens auf. Es geschah gelegentlich, daß Braun, wenn er morgens etwas mit einem von uns zu besprechen hatte, in sein Schlafzimmer kam, sich an sein Bett setzte und dort mit ihm die Sache besprach.

Braun war das, was man einen prächtigen Menschen nennt. Ich bin überzeugt, daß alle, die ihm nähertreten durften, an ihn nicht nur mit Verehrung, sondern auch mit Vergnügen zurückdenken.

Eingegangen am 15. April 1948.

Literatur.

(1) Braun, F., Über ein Verfahren zur Demonstration und zum Studium des zeitlichen Verlaufs variabler Ströme. Ann. Phys. **60**, 552—559 (1897). — (2) Zusammenfassende Darstellungen über die Braunsche Röhre, z. B.: a) Ardenne, M. von, Die Kathodenstrahlröhre. Berlin (1933). - b) Mac Gregor-Morris, J. T., und Henley, J. A., Cathode ray oscillography. London (1936). — (3) Goubau, G., und Zenneck, J., Messung von Echos bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in der Atmosphäre. Hochfrequenz-Techn. und Elektroak. **37**, 207—218 (1931). — (4) Zenneck, J., Eine Methode zur Demonstration und Photographie von Stromkurven, Ann. Phys. **68**, 838 (1899). — (5) Goubau, G., Eine Methode zur radialen Ablenkung an der Braunschen Röhre. Hochfrequenztechn. und Elektroak. **40**, 1—3 (1932). — (6) Zusammenfassende Darstellungen über F. Braun: a) Nachruf: Phys. Ztschr. **19**, 537 - 539 (1918), unterzeichnet H. R. - b) Nachruf von Georg Graf Arco. Jahrb. d. drahtl. Telegr. **13**, 98—108 (1918). - c) Mandelstam, L., und Paplexi, V., Ferdinand Braun zum Gedächtnis. Die Naturwissenschaften **16**, 623ff (1928). - d) Zenneck, J., Ferdinand Braun (1850—1918). Lebensbilder aus Kurhessen und Waldeck, Bd. **II**, Marburg (1940).